364-2.

SOCIÉTÉ INDUSTRIELLE DE L'OZONE
11, RUE DE ROME, 11

PROCÉDÉS

MARMIER & ABRAHAM

POUR LA

STÉRILISATION DES EAUX

PAR

L'OZONE

PARIS,
IMPRIMERIE GAUTHIER-VILLARS,
QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS, 55.

—

1900

Grand Prix
&
Médaille d'Or
Exposition Univ
1900

628 1 MAar

SOCIÉTÉ INDUSTRIELLE DE L'OZONE
11, RUE DE ROME, 11

PROCÉDÉS

MARMIER & ABRAHAM

POUR LA

STÉRILISATION DES EAUX

PAR

L'OZONE

PARIS,
IMPRIMERIE GAUTHIER-VILLARS,
QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS, 55.

1900

PROCÉDÉS

MARMIER & ABRAHAM

POUR LA

STÉRILISATION DES EAUX

PAR

L'OZONE

Différents procédés d'épuration.

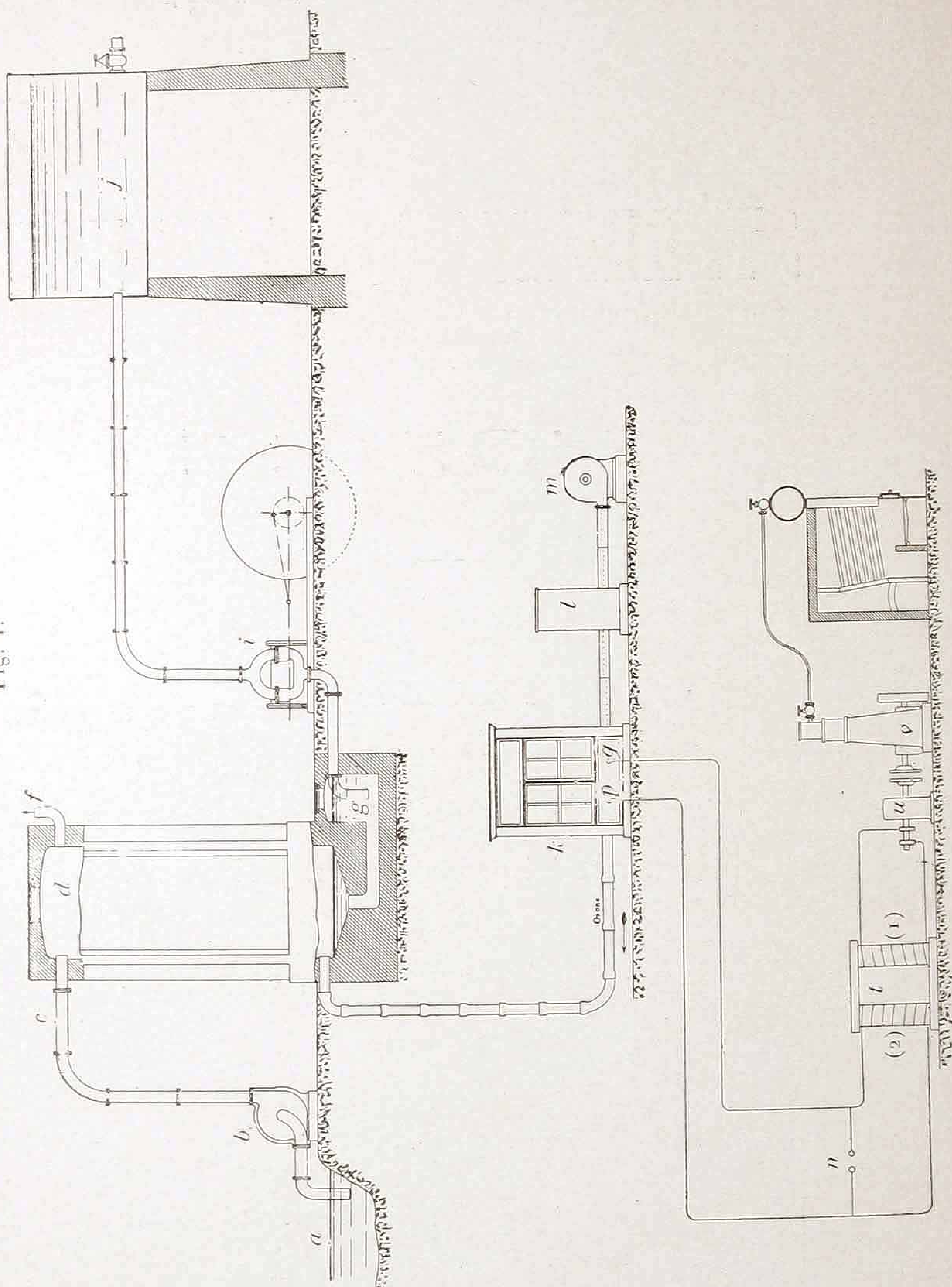
Depuis qu'on a reconnu les dangers que présente l'emploi, trop souvent inévitable, d'eaux contaminées pour l'alimentation des villes, de nombreux procédés d'épuration ont été proposés et expérimentés.

Filtration.

Le plus ancien de ces procédés, la filtration, ne donne que des résultats incomplets.

« Nous ne connaissons pas actuellement, dit M. le Dr Thoinot, un seul procédé de filtrage en grand qui donne des résultats excellents, et surtout excellents d'une façon permanente; et quand on m'annonce qu'une filtra-

Fig. 1.



Plan schématique d'une usine de stérilisation des eaux. (Système Marmier et Abraham.)

tion en grand a réduit de quatre-vingts ou quatre-vingt-dix pour cent les bactéries d'une eau de rivière, je traduis ce brillant résultat en pensant qu'il pouvait exister dans mon verre cent bactéries pathogènes, cent bacilles d'Eberth si vous voulez, avant la filtration, et qu'il en existe encore après dix ou vingt, ce qui ne me rassure guère. Je pense que tous les principes solubles toxiques qu'avaient apportés à cette eau de rivière les matières fécales, les urines, les eaux de lavage, etc., qu'elle a nécessairement reçues, ont traversé le filtre, au moins partiellement, et sont représentés dans mon verre [1]. »

Ébullition.

On peut débarrasser l'eau de tous les germes pathogènes qu'elle contient en la faisant bouillir, mais l'eau qui a été amenée à l'ébullition est privée d'air, indigeste ; et d'ailleurs les procédés industriels d'ébullition en grandes masses sont impraticables.

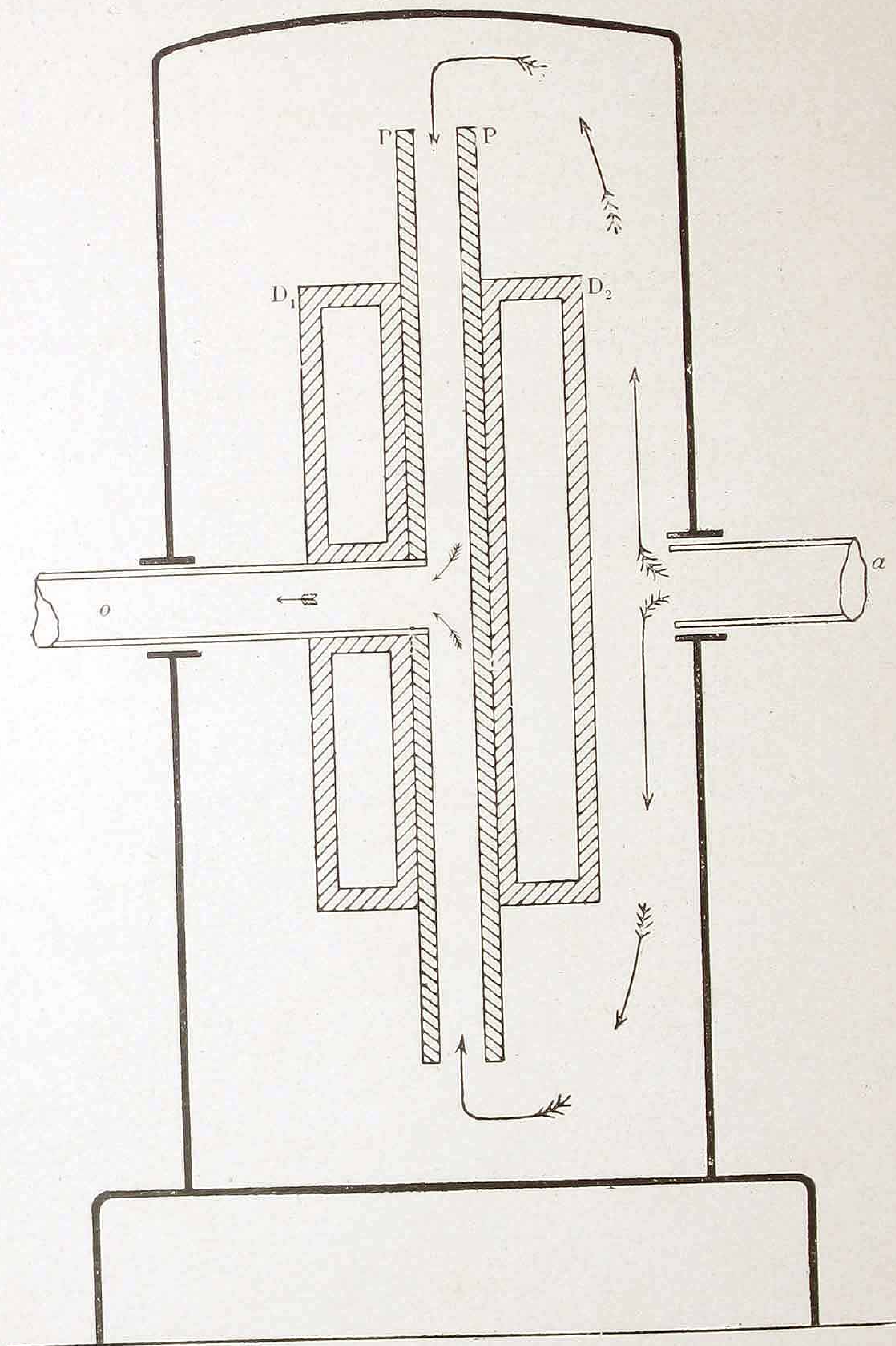
Réactifs chimiques.

On a proposé de stériliser les eaux au moyen de composés chimiques solubles. Un très grand nombre de produits oxydants tels que les permanganates, et, en particulier, le permanganate de chaux, ont été essayés ; on a

---

(1) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences :* Séance du 13 février 1900.

Fig. 2.



Coupe schématique de l'Ozoneur.

même préconisé l'emploi de certains composés oxygénés du chlore, aussi redoutables par leurs propriétés toxiques que par les produits de décomposition auxquels ils donnent fatalement naissance et qui subsistent dans l'eau après traitement.

Les dangers que présente au point de vue de la santé publique l'introduction de tels produits dans les eaux de consommation sont prohibitifs ; et ces méthodes ne paraissent pas devoir franchir le domaine du laboratoire.

Ozone.

L'ozone est le seul agent stérilisateur qui ait donné des résultats industriels satisfaisants. Son application, indiquée d'abord par le professeur Ohlmüller, fut tentée par divers inventeurs. Les résultats obtenus restèrent indécis.

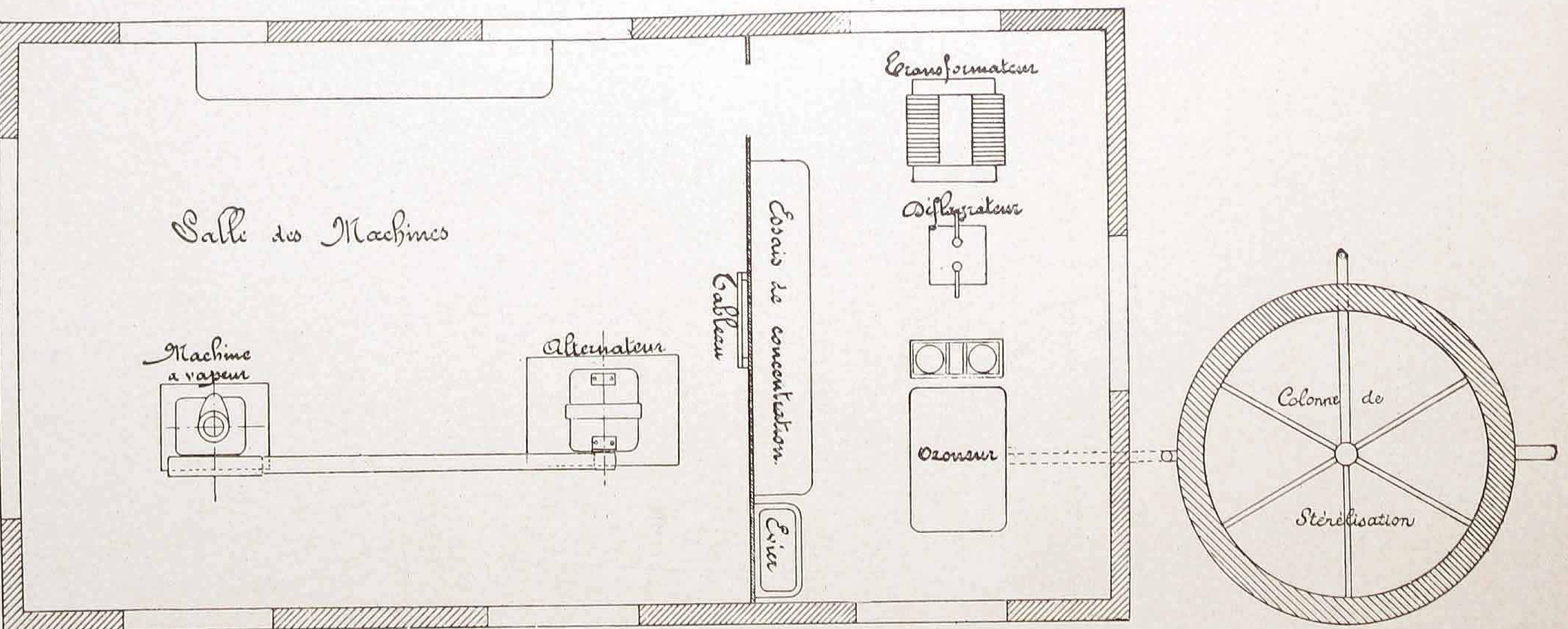
Procédés M. et A.

En 1897, MM. Marmier et Abraham reprirent le problème et en fournirent une solution pratique et industrielle dont la *fig.* 1 donne un schéma explicatif.

Le principe de la méthode consiste à faire passer l'eau qu'on veut épurer dans une colonne remplie d'air ozoné concentré.

Le liquide est aspiré en *a* par une pompe centrifuge *b* ; il est envoyé au sommet *c* de la colonne *d*, dont la disposition intérieure a pour but de diviser l'eau en minces filets sur lesquels s'exerce l'action de l'ozone. Un puisard *g*

Fig. 3.



Emmerin. — Vue en plan de l'usine de stérilisation.

recueille l'eau qui, reprise par une pompe élevatoire *t*, est refoulée au réservoir de distribution *j*.

L'air ozoné est amené à la partie inférieure de la chambre de stérilisation qu'il traverse de bas en haut pour sortir en *f*.

La circulation de l'ozone est assurée par un ventilateur *m* aspirant l'air atmosphérique pour le faire passer d'abord dans un dessiccateur *l*, dans un ozoneur *k*, enfin dans la colonne *d*.

Le dessiccateur n'est autre chose qu'un cylindre contenant de l'acide sulfurique concentré qui absorbe la vapeur d'eau contenue dans l'air.

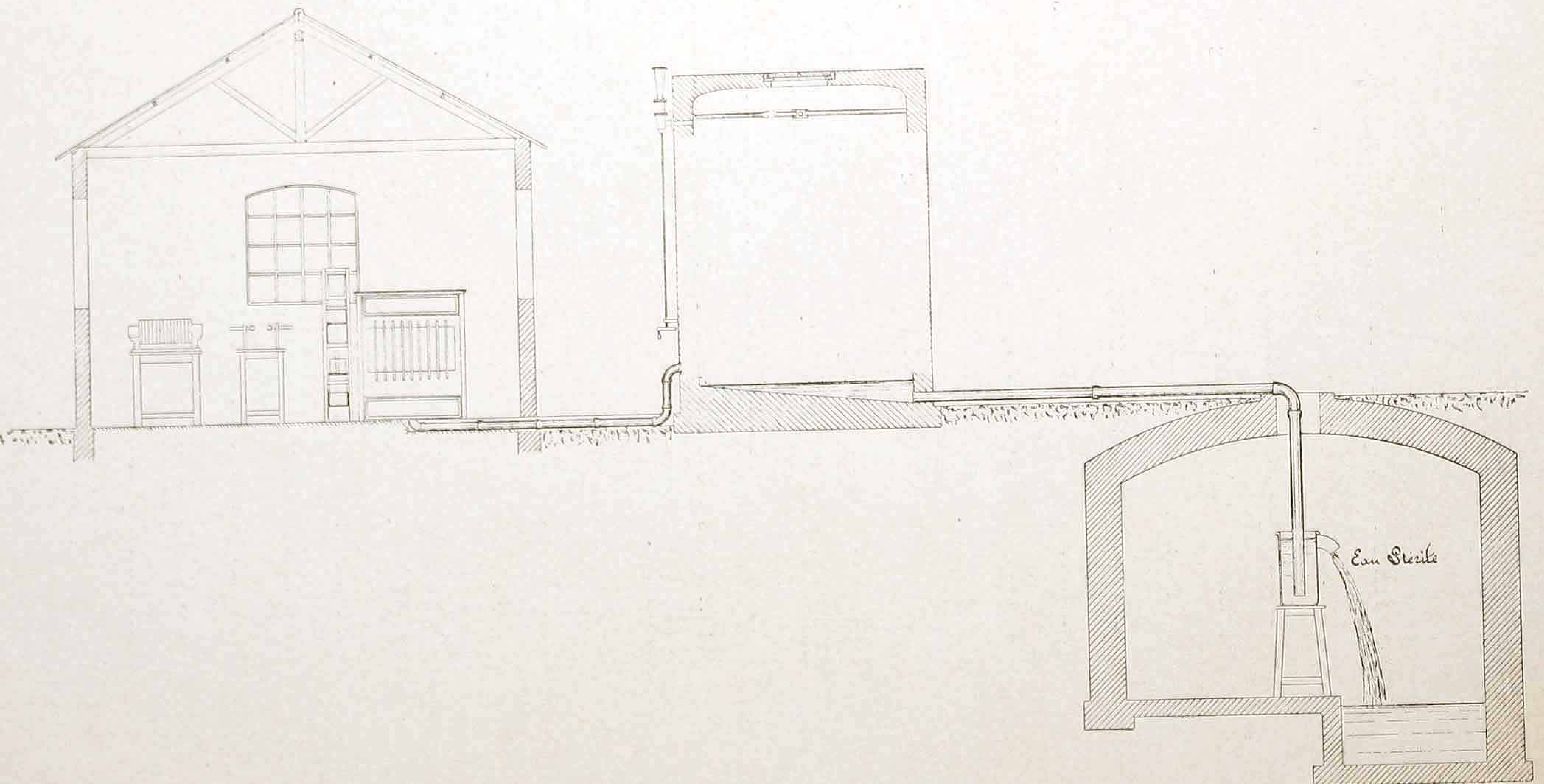
L'ozoneur est un appareil où se produisent des effluves électriques dans lesquels l'oxygène de l'air se transforme en ozone.

Le courant électrique nécessaire à la production des effluves est fourni par un transformateur *t* dont le circuit primaire (1) reçoit le courant d'un alternateur *u* actionné par une machine à vapeur *v* et sa chaudière.

Le circuit secondaire (2) fournit à l'ozoneur des courants à une tension voisine de 40 000 volts.

En *n* on place en dérivation, sur le circuit de haute tension, un déflagrateur formé de deux sphères entre lesquelles jaillit une étincelle électrique que l'on souffle continuellement au moyen d'un jet d'air comprimé ou de vapeur.

Fig. 4.



Emmerin. — Coupe de l'usine de stérilisation.

Tel est, dans son extrême simplicité, le principe sur lequel est basée l'ozonisation de l'eau d'après les procédés de MM. Marmier et Abraham.

Ozoneur M. et A.

La *fig*. 2 représente une coupe schématique de l'ozoneur. Deux disques en fonte d_1, d_2 sont suspendus de manière que leurs faces soient parallèles; deux plaques de verre *p*, *p* sont appliquées sur ces disques et sont séparées entre elles par un intervalle dans lequel se produisent les effluves.

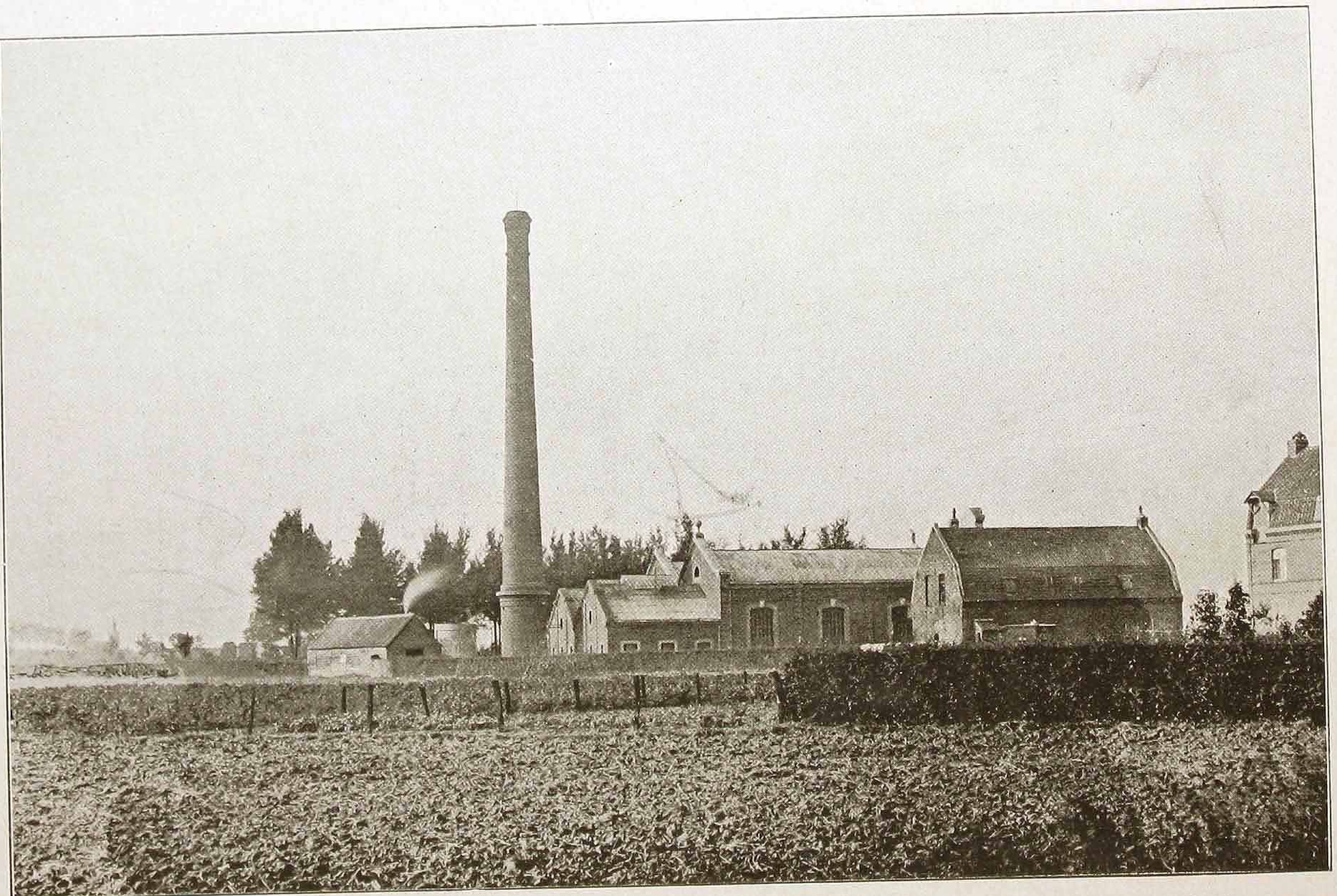
Les plateaux *d* sont enfermés dans une caisse hermétiquement close. L'air arrive en *a*, traverse les effluves, comme l'indiquent les flèches, et, se transformant en ozone, vient sortir en *o* pour être utilisé dans la chambre de stérilisation.

Les disques d_1, d_2 sont évidés. Ils reçoivent un courant d'eau qui les empêche de s'échauffer d'une manière anormale sous le dégagement de chaleur dû à la dépense d'énergie électrique.

Réfrigération.

L'idée de la réfrigération des électrodes est ancienne; mais MM. Marmier et Abraham ont été les premiers à indiquer comment un courant d'eau pouvait être électriquement isolé dans des conditions suffisamment pratiques pour permettre un refroidissement par circulation continue.

Fig. 5.



EMMERIN. — Vue générale de l'usine élévatoire.

Deux obstacles n'avaient pu être surmontés par les inventeurs précédents :

Concentration.

D'une part la concentration de l'ozone était insuffisante, et d'autre part le mélange de l'ozone avec l'eau était trop incomplet pour assurer la destruction de tous les germes.

MM. Marmier et Abraham ont obtenu une concentration élevée de l'ozone au moyen de leur dispositif de réfrigération continue combiné avec l'usage de leur déflagrateur. La réfrigération devenue pratique a permis l'utilisation d'effluves intenses qui seuls donnent de l'ozone concentré; et, au moyen du déflagrateur, on a réussi à produire ces effluves à bon marché.

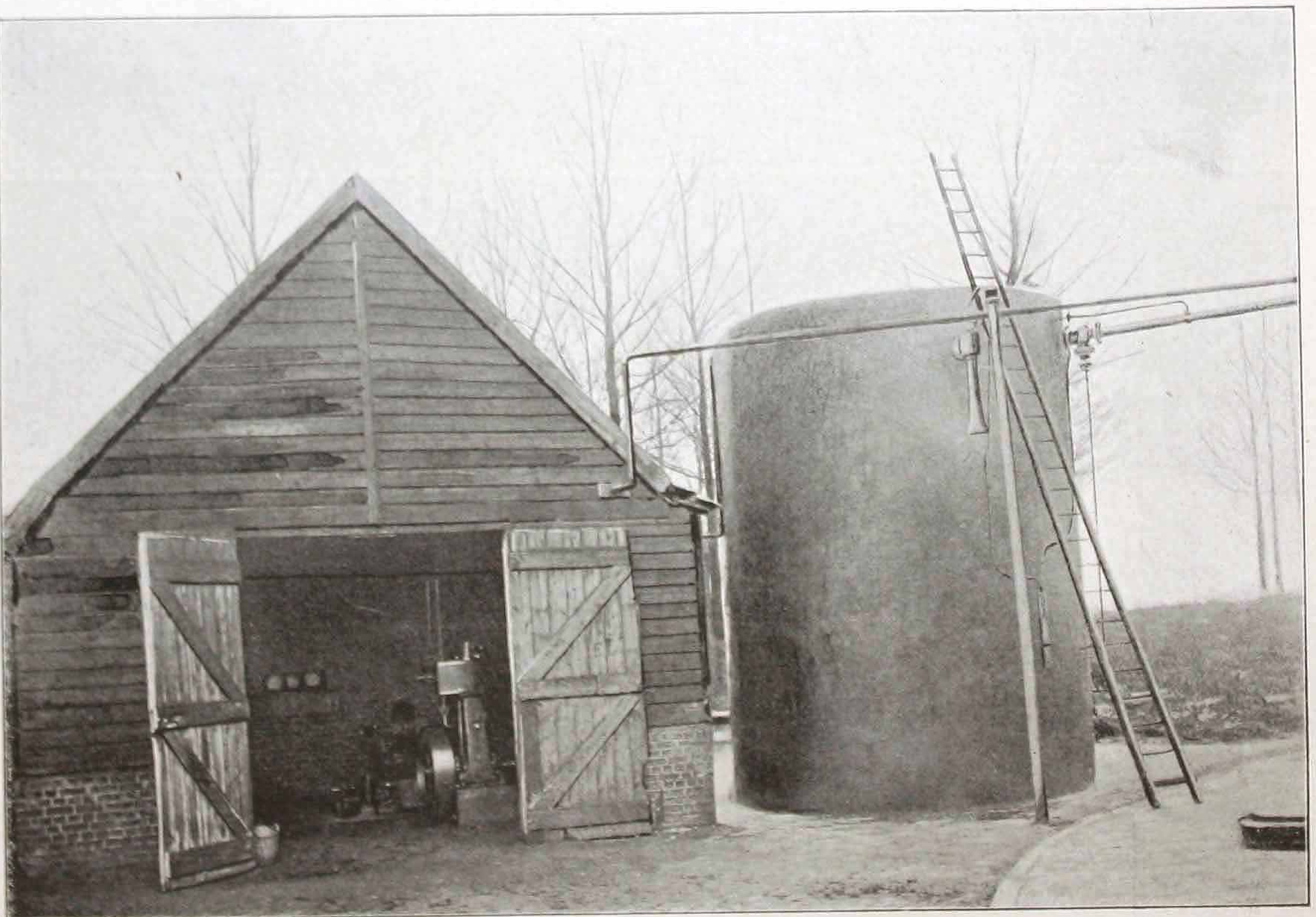
Ozonisation.

Quant à la seconde difficulté, mélange de l'eau avec l'ozone, elle est inhérente à la nature même de l'ozone pratiquement insoluble dans l'eau.

L'insolubilité est une propriété primordiale qu'il faut exiger de tout agent employé pour la stérilisation des eaux potables. Elle constitue l'indispensable garantie du consommateur en lui donnant la certitude absolue qu'en aucun cas l'eau qui sert à son alimentation n'aura, à la suite du traitement qu'elle a subi, conservé de trace appréciable de l'agent stérilisateur.

C'est cette garantie que ne peuvent donner les perman-

Fig. 6.



EMMERIN. — Vue de face de l'usine de stérilisation.

ganates, les composés toxiques du chlore et autres produits chimiques que l'eau dissout et peut retenir en toutes proportions.

Cette considération suffit à elle seule pour assurer à l'ozone le monopole incontestable de la stérilisation des eaux alimentaires.

Chambre de stérilisation.

Mais par quel moyen réaliser un contact assez intime entre la masse liquide qu'il s'agit de stériliser et le gaz stérilisant insoluble ?

Au laboratoire, pour de petites quantités d'eau, les méthodes sont nombreuses ; mais pour le traitement industriel des grands cubes, les tentatives n'avaient abouti qu'à des insuccès, lorsque MM. Marmier et Abraham créèrent leur colonne de stérilisation.

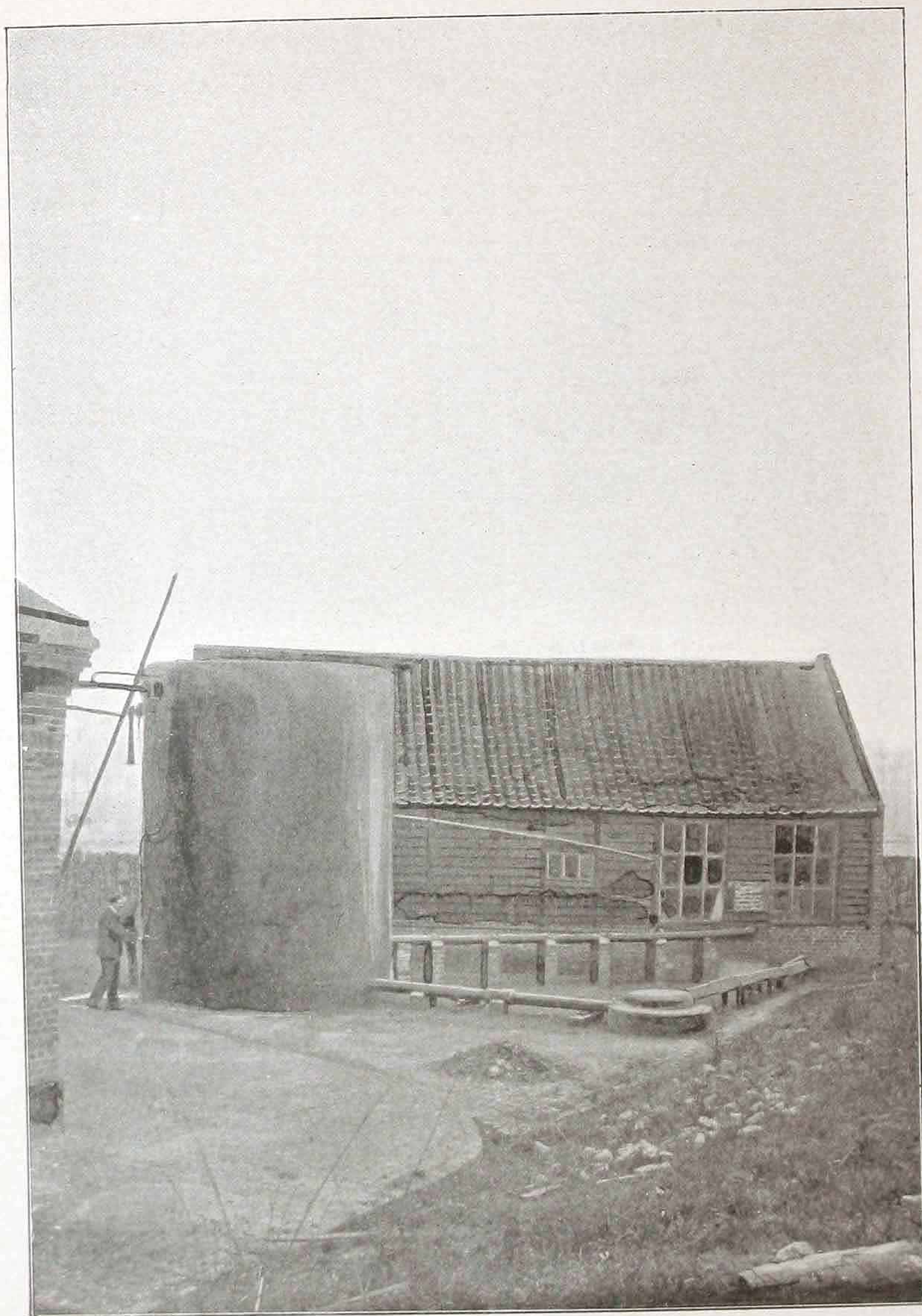
Seule entre tous les appareils imaginés, cette colonne a permis de réaliser entre l'ozone et l'eau un mélange intime et pour ainsi dire moléculaire, dans des conditions à la fois efficaces au point de vue bactériologique et avantageuses au point de vue commercial.

La perfection des résultats obtenus par les procédés que nous venons de décrire fut démontrée au cours des mémorables expériences de Lille.

Usine d'Emmerin.

En 1898, M. Marmier obtint de la Municipalité de

Fig. 7.



EMMERIN. — Vue latérale de l'usine de stérilisation.

Lille l'autorisation d'établir à l'usine élévatoire d'Emmerin une installation capable de stériliser environ 3000^{mc} par vingt-quatre heures.

Les *fig.* 3 et 4 représentent un plan et une coupe de cette installation.

Dans un premier local, une machine à vapeur actionnant l'alternateur. Dans un local contigu les appareils de production de l'ozone, comprenant le transformateur, l'ozoneur et le déflagrateur. Auprès du bâtiment de l'usine, la colonne de stérilisation.

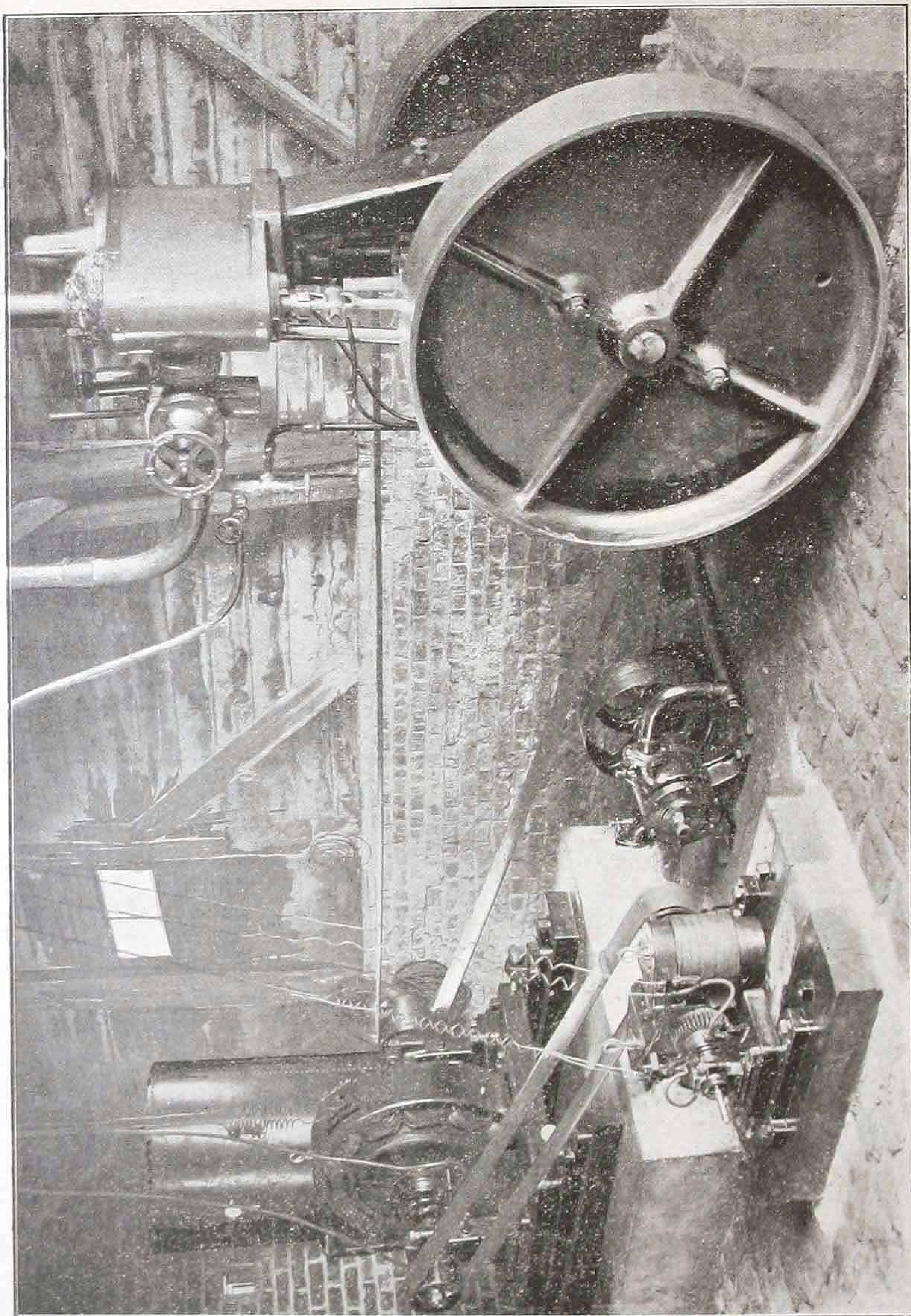
Pour la circulation de l'air ozoné, on avait trouvé commode de remplacer le ventilateur par un aspirateur Kœrting placé au sommet de la colonne (voir *fig.* 4). L'eau contaminée arrivait en charge et était rendue stérile dans les bassins d'alimentation des pompes élévatoires.

On voit *fig.* 5 un ensemble de l'usine élévatoire d'Emmerin, auprès de laquelle on distingue le bâtiment annexe où fonctionnent les appareils d'ozonisation.

La *fig.* 6 donne une vue de face de l'usine et de la colonne sur laquelle on voit le Kœrting et un manomètre indiquant la dépression obtenue.

La *fig.* 7 est une vue latérale. On y remarquera la conduite en poterie amenant l'ozone à la colonne et la canalisation d'eau stérile.

Fig. 8.



EMMERIN. — Salle des machines.

La *fig.* 8 montre l'alternateur couplé avec la machine à vapeur.

La *fig.* 9 représente la salle des appareils de haute tension où l'on voit le transformateur, le déflagrateur et l'ozoneur.

Enfin la *fig.* 10 est une photographie de la table qui servait aux manipulations de contrôle de la concentration de l'ozone et sur laquelle étaient aussi disposés les appareils de mesures électriques.

Rapport de la Commission officielle de Lille.

L'usine, mise en route en juin 1898, fut normalement exploitée pendant une durée de neuf mois consécutifs. Pour contrôler l'efficacité du traitement, la Municipalité de la ville de Lille voulut bien nommer une Commission officielle dont faisaient partie :

MM. Dr Staes-Brame, adjoint au Maire, président ;

Dr Roux, membre de l'Institut, membre de l'Académie de Médecine, sous-directeur de l'Institut Pasteur de Paris ;

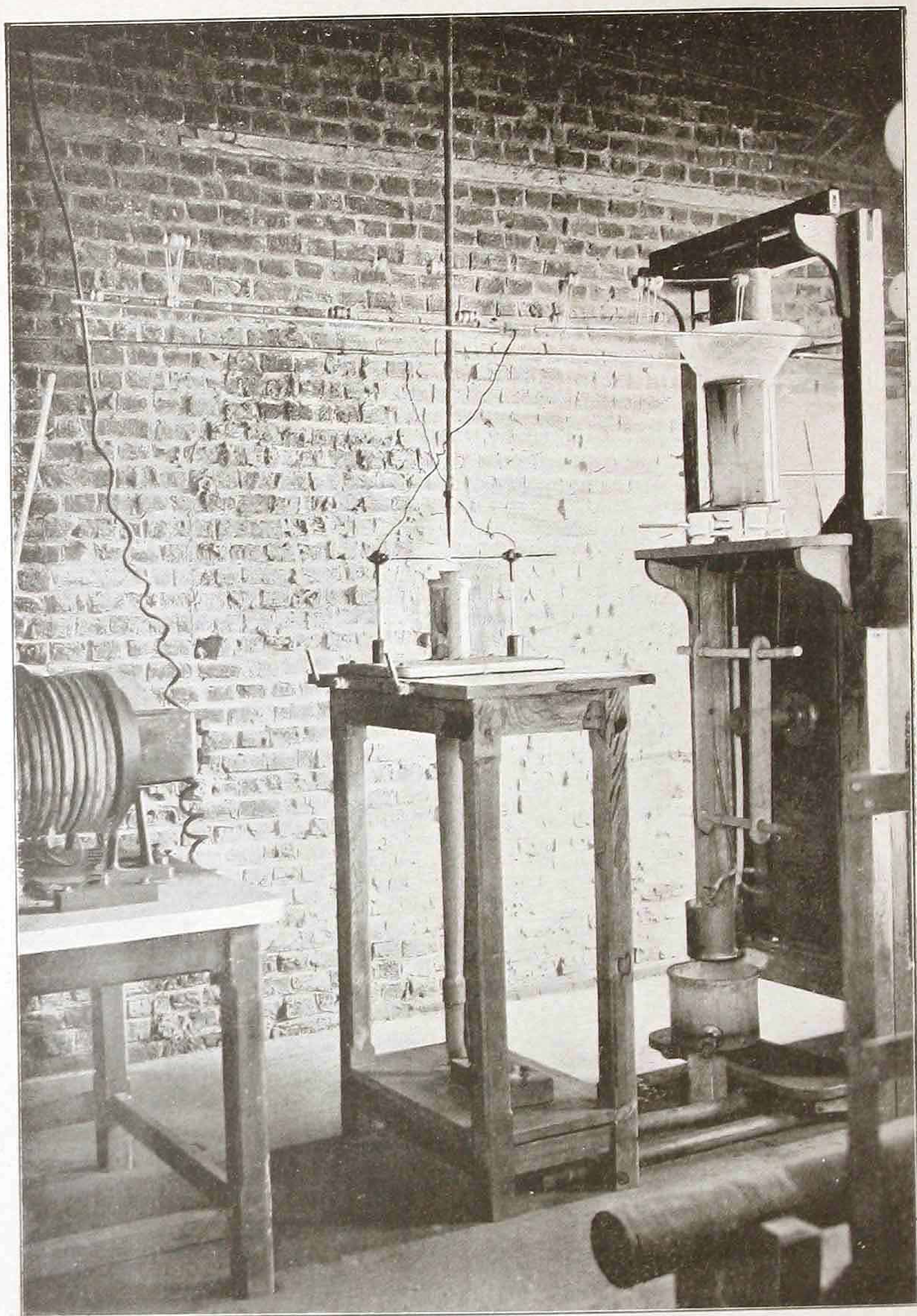
Buisine, professeur de Chimie industrielle à la Faculté des Sciences de Lille ;

Dr Calmette, directeur de l'Institut Pasteur de Lille, professeur à la Faculté de Médecine de Lille ;

Bouriez, expert-chimiste.

Ces hommes éminents, dont la haute autorité scien-

Fig. 9.



EMMERIN. — Salle de l'ozoneur.

tifique est indiscutée, examinèrent l'ensemble des procédés, et instituèrent une série d'expériences sur les eaux traitées.

Les essais furent continués pendant une période de plus de deux mois et furent consignés dans un Rapport remis à la Municipalité.

Les conclusions de ce rapport étaient les suivantes :

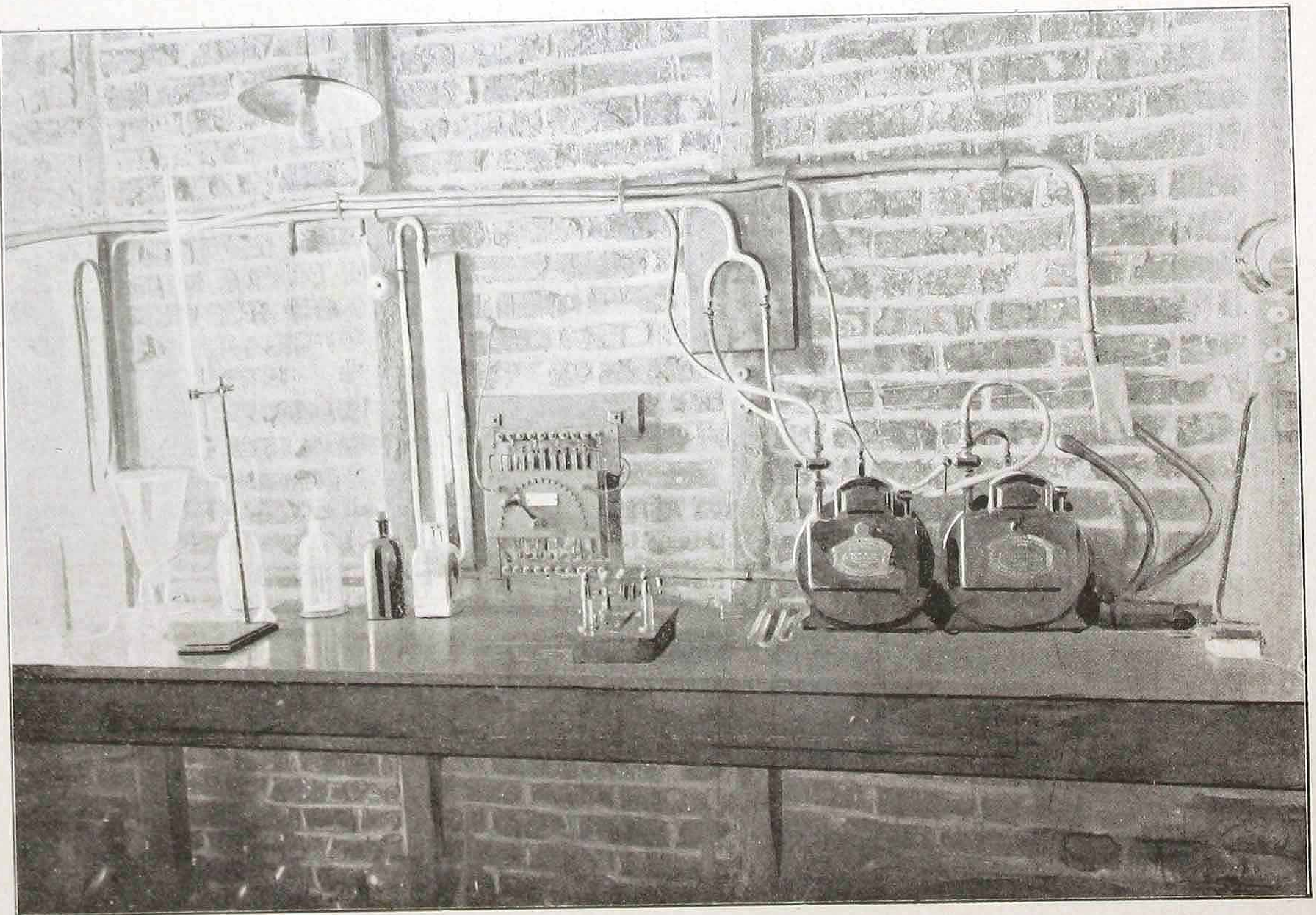
« En résumé, l'ensemble des analyses bactériologiques et chimiques que nous avons effectuées pendant la période qui s'étend du 10 décembre 1898 au 12 février 1899, nous conduit à conclure que :

» 1° LE PROCÉDÉ DE STÉRILISATION DES EAUX d'alimentation par l'ozone, basé sur l'emploi des appareils ozoneurs et de la colonne de stérilisation DE MM. MARMIER ET ABRAHAM, EST D'UNE EFFICACITÉ INCONTESTABLE, ET CETTE EFFICACITÉ EST SUPÉRIEURE A CELLE DE TOUS LES PROCÉDÉS DE STÉRILISATION ACTUELLEMENT CONNUS, susceptibles d'être appliqués à de grandes quantités d'eau.

» 2° La disposition très simple de ces appareils, leur robustesse, la constance de leur débit et la régularité de leur fonctionnement donnent *toutes les garanties que l'on est en droit d'exiger d'appareils vraiment industriels.*

» 3° Tous les microbes pathogènes ou saprophytes que l'on rencontre dans les eaux étudiées par nous *sont parfaitement détruits* par le passage de ces eaux dans la co-

Fig. 10.



EMMERIN. — Table des concentrations.

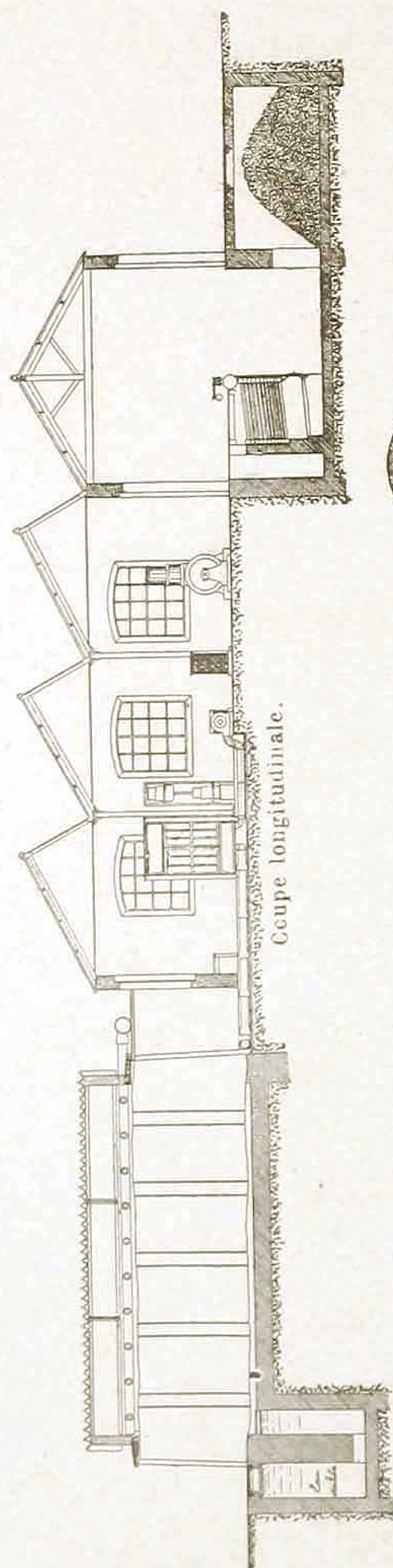
lonne ozonatrice. Seuls quelques germes de *Bacillus subtilis* résistent.

» On compte environ un germe appartenant à cette espèce par 15^{cc} d'eau traitée avec une concentration d'ozone égale à $0^{gr},006$ par litre d'air. Avec une concentration de $0^{gr},009$ le nombre des germes de *B. subtilis*, revivifiables par la culture en bouillon, s'abaisse à moins de 1 pour 25^{cc} d'eau traitée.

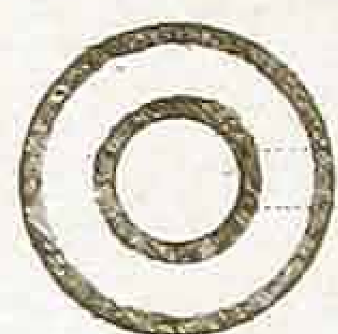
» Il importe d'observer que le *B. subtilis* (microbe du foin) est tout à fait inoffensif pour l'homme et pour les animaux; et, d'ailleurs, les germes de ce microbe résistent à la plupart des moyens de destruction, tels que le chauffage à la vapeur sous pression à 110°. Il n'est donc pas utile d'exiger sa disparition complète des eaux destinées à la consommation, et nous considérons comme très suffisante la stérilisation obtenue par l'air ozonisé avec une concentration de $0^{gr},005$ à $0^{gr},006$ par litre, dans les conditions où se placent MM. Marmier et Abraham.

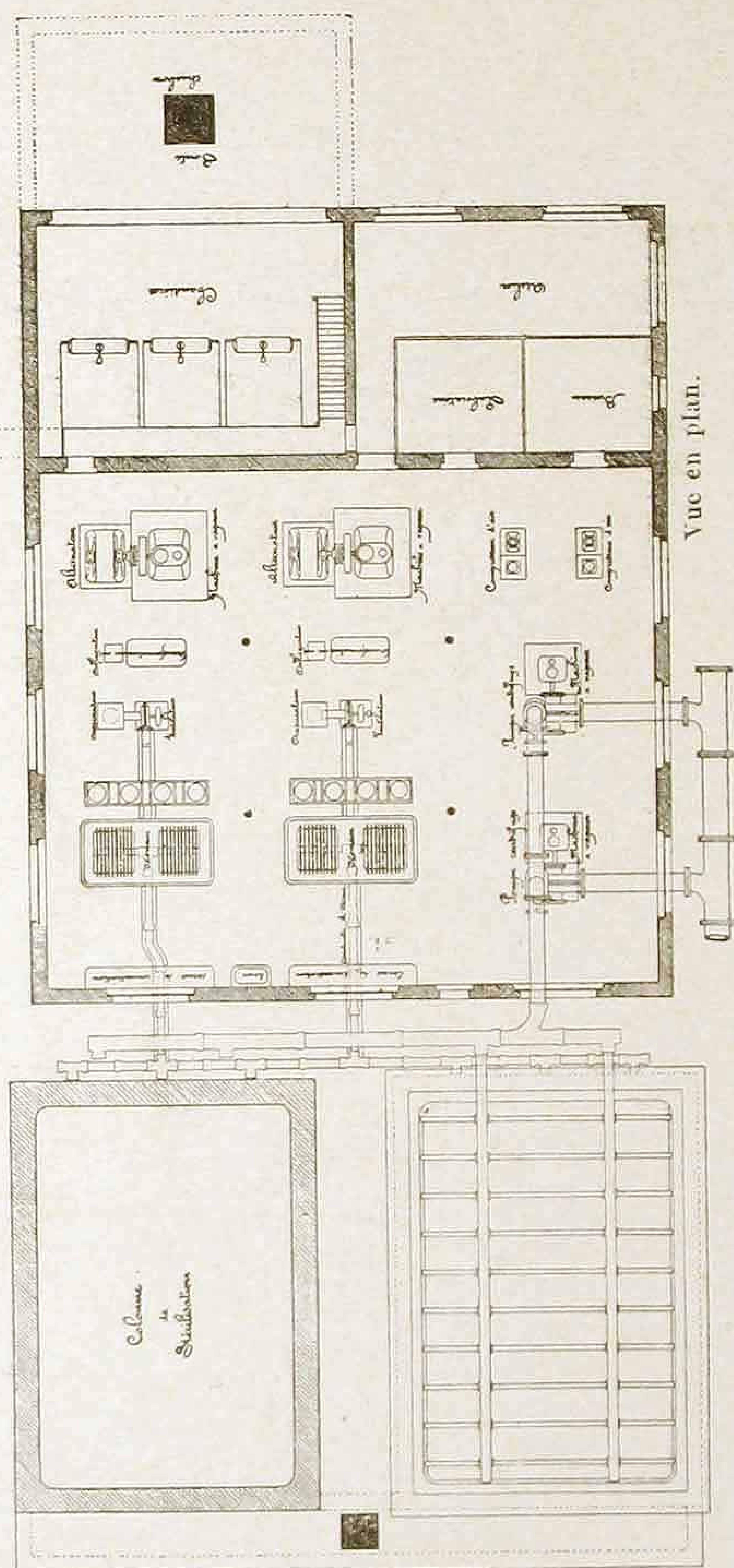
» 4° *L'ozonisation de l'eau n'apporte dans celle-ci aucun élément étranger préjudiciable à la santé des personnes* appelées à en faire usage. Au contraire, par suite de la non-augmentation de la teneur en nitrates, et de la diminution considérable de la teneur en matières organi-

Fig. 11.



Coupe longitudinale.





Vue en plan.

Usine type pour service public.

ques, les eaux soumises au traitement par l'ozone sont moins sujettes aux pollutions ultérieures, et sont, par suite, beaucoup moins altérables. Enfin, l'ozone n'étant autre chose qu'un état moléculaire particulier de l'oxygène, l'emploi de ce corps présente *l'avantage d'aérer énergiquement l'eau, et de la rendre plus saine* et plus agréable pour la consommation, sans lui enlever aucun de ses éléments minéraux utiles ([1]). »

([1]) En présence de ces résultats excellents, la Commission a voulu se rendre compte de certains faits qui avaient attiré son attention au cours des expériences effectuées. Il semblait extraordinaire, par exemple, que l'eau ozonée, conservée douze heures, vingt-quatre heures, trente-six heures, et même cinq jours au laboratoire, restât stérile, et se montrât relativement plus pauvre en germes que l'eau analysée très peu de temps après la prise d'échantillons.

On pouvait supposer :

Ou bien que les quelques germes de *B. subtilis* qui échappaient à l'action de l'ozone, pendant le passage à la colonne, étaient détruits ultérieurement par une très petite quantité d'ozone qui pouvait rester dans le liquide pendant les premières heures qui suivent le prélèvement.

Ou bien, que l'ozonisation engendre dans l'eau des substances chimiques qui empêchent la pullulation des germes.

Pour répondre à ces questions, nous avons mélangé à 373^{cc} d'eau ozonée, prélevée le 23 janvier et conservée trois jours au laboratoire, 68^{cc} d'eau brute prélevée le 26 du même mois.

Le mélange a été ensemencé le 28, soit après deux jours de contact, à la dose de $0^{cc},1$ dans six matras de gélatine nutritive.

La numération des colonies, effectuée après six jours de culture à 23°, a donné 1340 germes par centimètre cube.

Donc l'eau ozonée ne renferme aucune substance antisep-

Fig. 12.

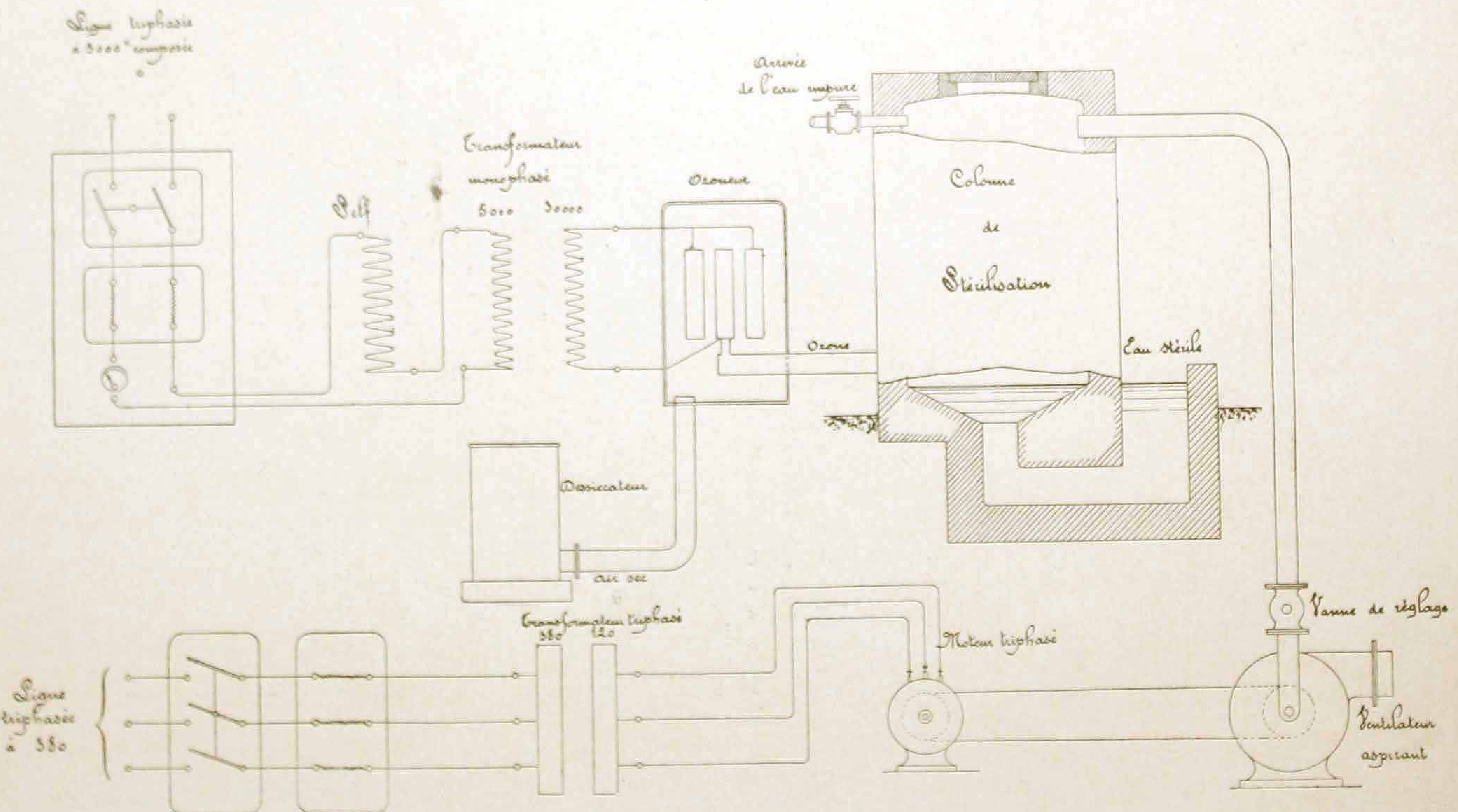


Schéma de l'installation du Boléo (Mexique).

Nous donnons, *fig*. 11, la disposition-type adoptée par la Société industrielle de l'Ozone pour la stérilisation des eaux des villes.

Usine type pour service public.

Cette disposition est, en principe, identique à celle qui vient d'être décrite. On remarquera seulement que les machines et appareils divers ont été prévus en double unité, sujétion imposée par la nécessité d'assurer un service public dont la continuité ne saurait être laissée à la merci d'un accident.

Lorsqu'il est possible de prendre le courant alternatif sur une distribution extérieure, l'aménagement général se trouve modifié et simplifié.

Installation du Boléo (Mexique).

C'est ce qui a lieu à l'usine établie par la Société industrielle de l'Ozone aux mines du Boléo (Mexique).

Le schéma de cette installation est représenté *fig*. 12, le plan *fig*. 13 et les coupes *fig*. 14 et 15.

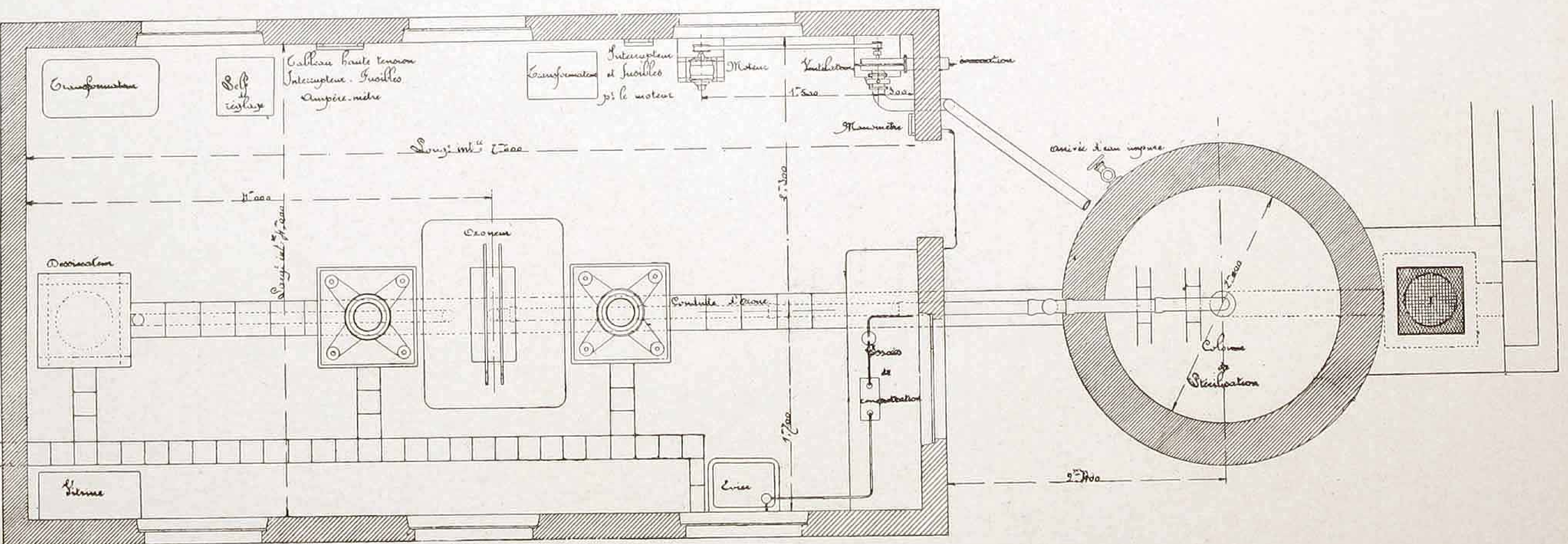
Le courant est fourni aux bornes du transformateur par l'une des phases d'une ligne triphasée à 5000 volts. Le réglage est obtenu au moyen d'une bobine de self-induction. Le ventilateur est actionné par un moteur électrique tri-

---

tique, capable de stériliser les germes de l'eau non ozonée avec laquelle on la mélange et d'empêcher leur pullulation.

(*Extrait du Rapport de la Commission officielle de Lille.*)

Fig. 13.



Plan.

Installation du Boléo.

phasé. Le reste de l'installation est conforme à la disposition-type.

La *fig.* 15 montre la disposition des appareils destinés à mesurer la concentration de l'ozone. Cette concentration est prise à volonté soit à la sortie de l'ozoneur, soit à la sortie de la colonne. L'air ozoné, aspiré par une trompe, passe dans un flacon laveur rempli d'iodure de potassium qui fixe l'ozone et dans un compteur qui mesure le volume d'air.

Avantages des procédés M. et A.

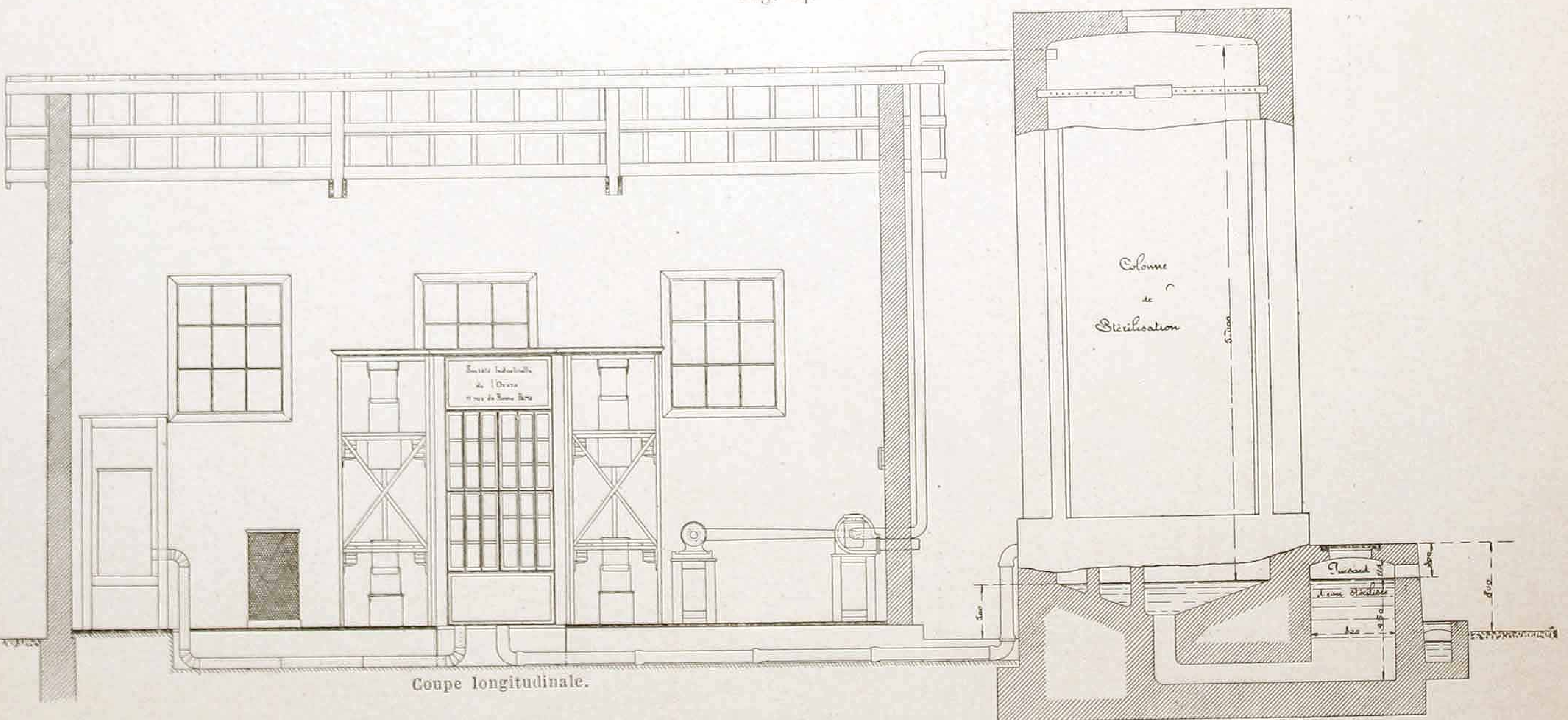
On peut dire qu'à la suite des travaux de MM. Marmier et Abraham, le problème de jour en jour plus difficile de l'approvisionnement en eau potable des agglomérations urbaines est désormais résolu.

Jusqu'ici, les villes se sont trouvées dans l'obligation d'aller capter au loin l'eau des sources pour l'amener par des conduites d'un entretien coûteux et dont l'établissement exige l'immobilisation de capitaux considérables. Souvent même, ces eaux amenées à grands frais ne sont pas d'une qualité irréprochable.

Et dans les cas trop fréquents où l'éloignement des sources ne permet plus financièrement leur adduction, la nécessité s'impose de puiser l'eau d'alimentation dans la rivière voisine.

Le seul mode d'épuration jusqu'ici applicable était la

Fig. 14.



Coupe longitudinale.

Installation du Boléo.

filtration en grandes masses dont tous les hygiénistes sont unanimes à reconnaître l'insuffisance.

Élimination totale des germes.

Un moyen nouveau se présente aujourd'hui, entouré de toutes les garanties scientifiques et expérimentales : grâce au système de MM. Marmier et Abraham, l'eau ozonée, quelle que soit sa contamination originelle, ne sert plus de véhicule aux maladies infectieuses telles que le choléra, la fièvre typhoïde, etc., parce qu'elle ne contient plus aucun germe pathogène.

Amélioration de la composition chimique.

Chimiquement, sa composition s'est améliorée par la disparition presque totale des matières organiques. Ses éléments minéraux sont restés les mêmes, et elle sort des chambres de stérilisation fortement aérée, plus légère et plus pure.

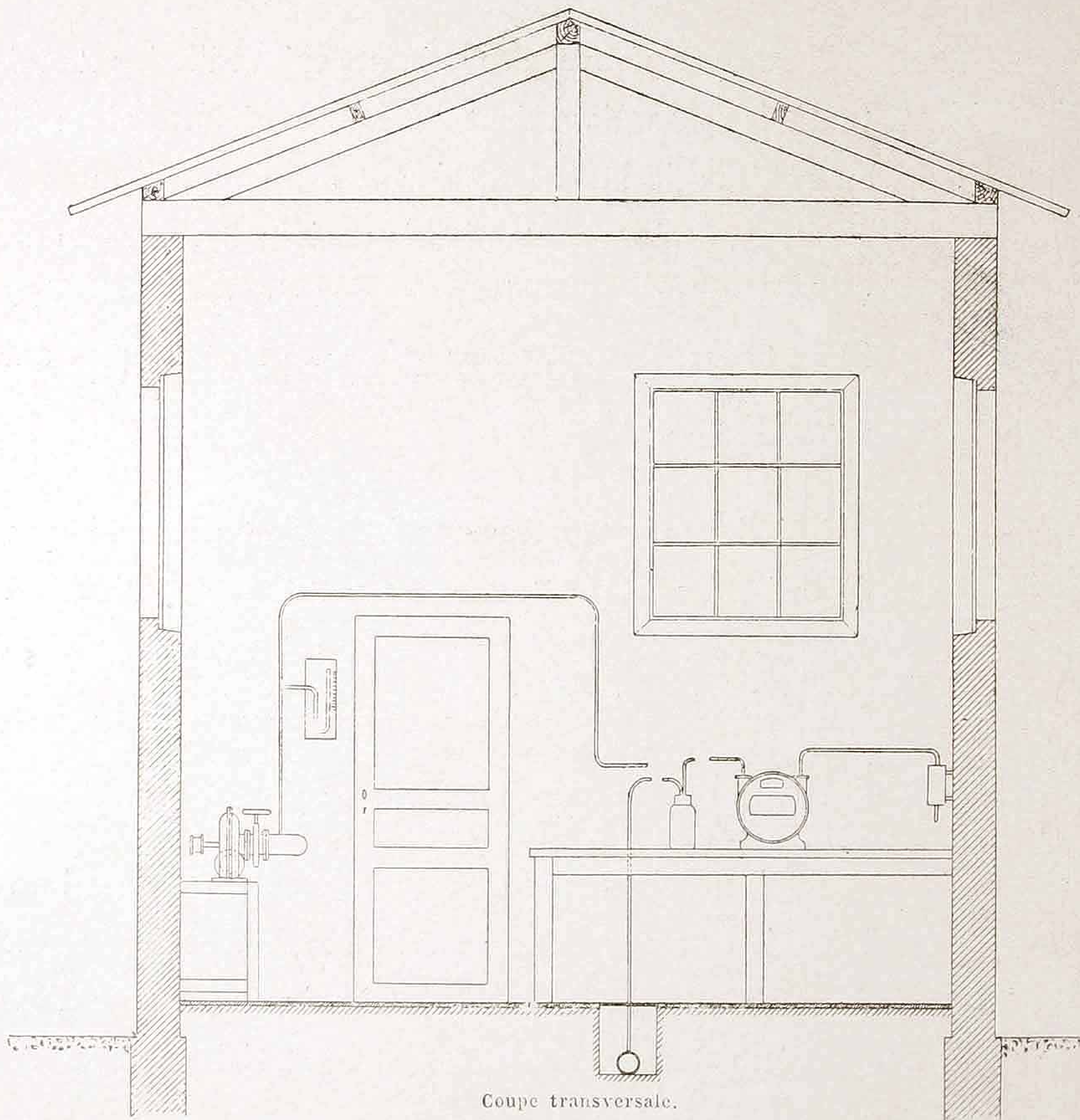
Sécurité.

Est-il besoin de rappeler qu'à l'inverse de ce qui a lieu lorsqu'on a recours aux produits chimiques solubles, aucun dosage n'est ici nécessaire? Un excès quelconque d'ozone peut être employé sans que les eaux traitées en conservent aucune trace.

Endurance des appareils.

Les appareils d'ozonisation sont simples, d'un maniement et d'un réglage faciles. Ils peuvent être conduits par

Fig. 15.



Coupe transversale.

Installation du Boléo.

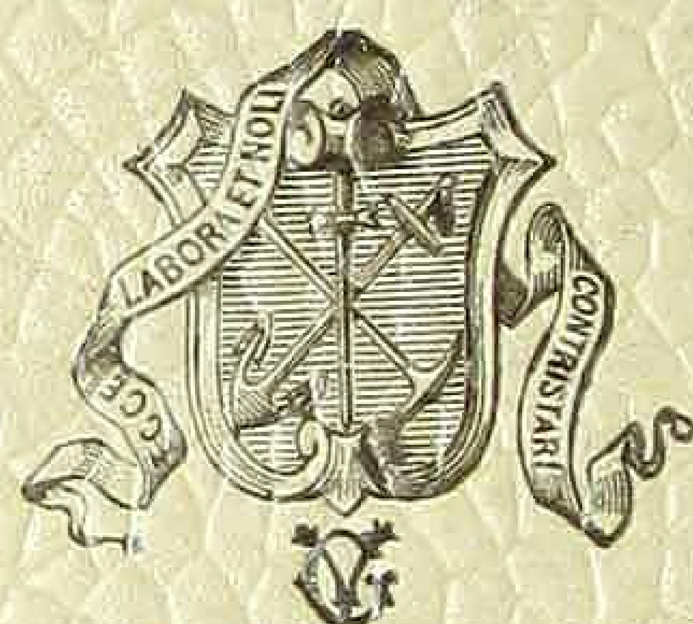
le personnel ordinaire des usines élévatoires. Leur construction robuste les rend capables de supporter normalement les services les plus sévères. Par la nature même des éléments qui les composent ils peuvent, sur un type uniforme, être construits pour les plus petits comme les plus grands débits.

Économie

Les dépenses d'installation et d'exploitation de ces appareils restent généralement très inférieures aux frais d'établissement et d'entretien des canalisations de grande longueur. Et quand ces canalisations préexistent, le coût supplémentaire de l'ozonisation, indispensable pour éliminer l'intégralité des germes pathogènes, n'est qu'une fraction faible, et presque toujours négligeable, du prix de revient total de l'eau.

Ainsi les procédés de MM. Marmier et Abraham remplissent toutes les conditions exigibles au triple point de vue DU FONCTIONNEMENT, DE L'EFFICACITÉ ET DE L'ÉCONOMIE, et l'on doit considérer leur emploi comme désormais imposé dans toutes les villes où la qualité de l'eau distribuée n'est pas au-dessus de tout soupçon.




CCE LABOR ET NOLI
CONTRISTARI